

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-321416

(43) 公開日 平成8年(1996)12月3日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 F 6/00	Z A A		H 0 1 F 7/22	Z A A J
H 0 1 B 12/02	Z A A		H 0 1 B 12/02	Z A A
H 0 1 L 39/04	Z A A		H 0 1 L 39/04	Z A A

審査請求 未請求 請求項の数19 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平7-71120

(22) 出願日 平成7年(1995)3月29日

(31) 優先権主張番号 特願平6-88997

(32) 優先日 平6(1994)4月27日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平7-956

(32) 優先日 平7(1995)1月9日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平7-60229

(32) 優先日 平7(1995)3月20日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005234

富士電機株式会社

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

(72) 発明者 坊野 敬昭

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

(72) 発明者 今野 雅行

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

(72) 発明者 榊 喜善

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

(74) 代理人 弁理士 山口 巖

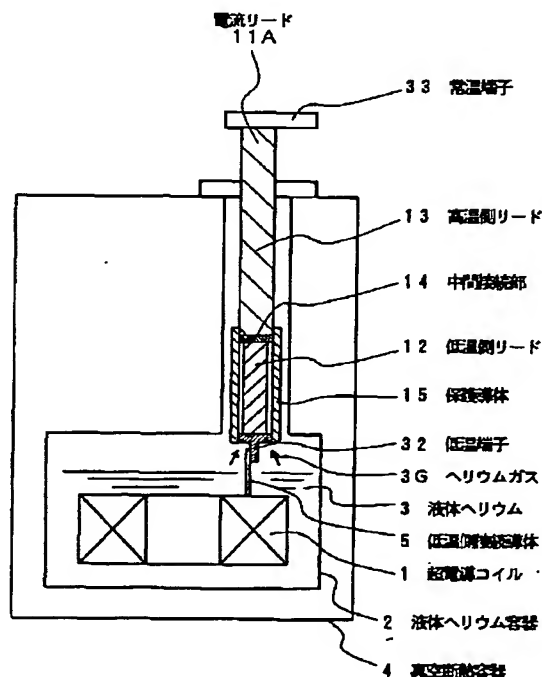
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超電導装置用電流リード

(57) 【要約】

【目的】 通電中に低温側リードの高温酸化超電導導体が常電導に転移しても、リードの焼損、超電導コイルや真空断熱容器の破損を引き起こさないものとする。

【構成】 良導電性金属を導体とする高温側リード13と高温酸化超電導体を導体とする低温側リード12を中間接続部14を介して直列接続し、低温側の低温端子32を、真空断熱容器4の液体ヘリウム容器2に液体ヘリウム3に浸漬された超電導コイル1と接続し、高温側の常温端子33を、外部電源と接続し、かつ低温のヘリウムガス3Gを内部に流して冷却するように構成された電流リード11Aにおいて、低温側リード12に並列に電気接続された保護導体15を配設し、高温酸化超電導導体が常電導に転移したとき、流通する電流が保護導体15にバイパスするようにする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】真空断熱容器の液体ヘリウム容器内に液体ヘリウムに浸漬して収納された超電導コイルに外部電源より電流を流通する超電導装置用電流リードで、良導電性金属を導体とする高温側リードと、高温酸化物超電導体を導体とする低温側リードの直列接続体で構成され、ヘリウムガスを通流して前記高温酸化物超電導体を超電導状態として用いるものにおいて、前記低温側リードに並列に電気接続された保護導体が配設されていることを特徴とする超電導装置用電流リード。

【請求項2】請求項1に記載の超電導装置用電流リードにおいて、前記保護導体が筒状に形成されてなり、その内部に前記低温側リードが配されていることを特徴とする超電導装置用電流リード。

【請求項3】請求項1または2に記載の超電導装置用電流リードにおいて、前記保護導体が、電気接続部分の表面に良導電性金属からなる金属膜を形成してなることを特徴とする超電導装置用電流リード。

【請求項4】請求項3に記載の超電導装置用電流リードにおいて、前記金属膜の形成に用いられる良導電性金属が、金または金の合金、銀または銀の合金、あるいは銅または銅の合金のいずれかであることを特徴とする超電導装置用電流リード。

【請求項5】請求項1ないし4のいずれかに記載の超電導装置用電流リードにおいて、前記保護導体が、低熱伝導性金属と、その両端に接合された良導電性金属との直列接続体からなることを特徴とする超電導装置用電流リード。

【請求項6】請求項5に記載の超電導装置用電流リードにおいて、前記低熱伝導性金属が、ステンレス鋼あるいはチタン材料のいずれかであることを特徴とする超電導装置用電流リード。

【請求項7】請求項5に記載の超電導装置用電流リードにおいて、前記良導電性金属が、銅または銅の合金のいずれかであることを特徴とする超電導装置用電流リード。

【請求項8】請求項1ないし7のいずれかに記載の超電導装置用電流リードにおいて、前記保護導体が、可撓性を有する形状に形成されていることを特徴とする超電導装置用電流リード。

【請求項9】請求項1に記載の超電導装置用電流リードにおいて、前記保護導体が、前記低温側リードの内部に埋設されてなることを特徴とする超電導装置用電流リード。

【請求項10】請求項1に記載の超電導装置用電流リードにおいて、前記保護導体と前記低温側リードが同一の中空管の内部に配されてなることを特徴とする超電導装置用電流リード。

【請求項11】請求項10に記載の超電導装置用電流リードにおいて、前記中空管の内部の断面積に占める保護

導体と低温側リードの断面積の割合が50%以上85%以下に選定されてなることを特徴とする超電導装置用電流リード。

【請求項12】請求項1に記載の超電導装置用電流リードにおいて、前記保護導体が、複数の導電性金属導体の線束からなり、かつ前記低温側リードを冷却するヘリウムガスの流通路に稠密に配されてなることを特徴とする超電導装置用電流リード。

【請求項13】請求項12に記載の超電導装置用電流リードにおいて、前記低温側リードが筒状に形成され、その内面に接する空間に前記保護導体が稠密に配されてなることを特徴とする超電導装置用電流リード。

【請求項14】請求項12に記載の超電導装置用電流リードにおいて、前記低温側リードが柱状に形成され、その外側に配置される外力バーと低温側リードとの間の空間に前記保護導体が稠密に配されてなることを特徴とする超電導装置用電流リード。

【請求項15】請求項12に記載の超電導装置用電流リードにおいて、前記低温側リードが多重円筒状に形成され、その空隙に前記保護導体が稠密に配されてなることを特徴とする超電導装置用電流リード。

【請求項16】請求項12に記載の超電導装置用電流リードにおいて、保護導体をなす前記の線束を形成する複数の導電性金属導体の少なくとも一部が、内部に金属系超電導体、または化合物系超電導体を埋め込んでなることを特徴とする超電導装置用電流リード。

【請求項17】請求項12乃至16のいずれかに記載の超電導装置用電流リードにおいて、保護導体を形成する前記導電性金属導体が、ブロンズ、ペリリウム銅合金、またはニッケル銅合金のうちのいずれか一つからなることを特徴とする超電導装置用電流リード。

【請求項18】請求項1ないし17のいずれかに記載の超電導装置用電流リードにおいて、前記超電導コイルに流通する通電電流容量を有し、良導電性金属を導体とする補助電流リードが付設され、かつ各々の電流リードの低温端子が前記超電導コイルに連結された低温側接続導体に電気的に接続されていることを特徴とする超電導装置用電流リード。

【請求項19】請求項18に記載の超電導装置用電流リードにおいて、付設された補助電流リードが、室温部での操作により低温端子部で着脱可能に構成された電流リードであることを特徴とする超電導装置用電流リード。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は、極低温にある超電導コイルに室温にある電源から電流を流通する超電導装置用電流リード、とくに、低温側に高温酸化物超電導体を用いた超電導装置用電流リードに関する。

【0002】

【従来の技術】超電導コイルは、液体ヘリウム等の極低

温冷媒によって冷却して使用することが必要であり、通常、液体窒素シールドや高真空層で熱の侵入を阻止した真空断熱容器内に設けられた液体ヘリウム容器に液体ヘリウムに浸漬した状態で収納される。電流リードは、極低温に保持された超電導コイルに室温部にある電源から励磁電流を流通するために設けられるものであり、通電に伴うジュール発熱、および常温側から極低温側へ熱伝導により侵入する熱を抑えて液体ヘリウムの蒸発量を低減するために、電流リードの内部に気化した低温のヘリウムガスを流して冷却し、除熱するように構成するのが通例である。電流リードの導体としては、銅または銅合金等の良導電性金属が一般的に用いられるが、断面積を大きくしてジュール発熱を抑えると熱伝導による侵入熱量が増大し、断面積を小さくして熱伝導による侵入熱量を抑えるとジュール発熱が増大するので、低減できる液体ヘリウムの蒸発量には限界がある。これに対し、高温酸化物超電導体を低温側リードの導体に配し、良導電性金属を導体とする高温側リードと直列に接続して構成した超電導装置用電流リード（例えば、特開昭63-292610号公報参照）が液体ヘリウムの蒸発量を飛躍的に低減するものとして注目されている。

【0003】図14は、従来の超電導装置用電流リードを組み込んだ超電導装置を模式的に示した断面図である。超電導コイル1は、真空断熱容器4の液体ヘリウム容器2に液体ヘリウム3に浸漬した状態で収納され、超電導状態に保持される。電流リード11は、銅または銅合金等の良導電性金属導体からなる高温側リード13と、高温酸化物超電導体からなる低温側リード12とが中間接続部14で導電接続された直列接続体からなり、低温端子32が超電導コイル1に連結された低温側接続導体5に接続され、常温端子33が図示しない電源に接続されることにより、超電導コイル1に電流が供給される。また、電流リード11は、液体ヘリウム容器2で蒸発し気化した低温のヘリウムガス3Gを、低温側リード12の下端より導入して冷却される。

【0004】低温側リード12の高温酸化物超電導体として、イットリウム系やビスマス系等のセラミックス系高温超電導体を用いれば、おおそ液体窒素温度以下で超電導状態となるのでジュール発熱がゼロになり、また、これらの熱伝導率は銅の場合に比べて2～3桁も小さいので伝導による侵入熱も大幅に低減される。低温側リード12の導体として適用する場合の形状としては、高温超電導材粉末を圧縮成形し熱処理したバルク型高温酸化物超電導体と、銀あるいはその合金等をシース材として圧縮成形し熱処理したシース型高温酸化物超電導体が知られている。このうちシース型高温酸化物超電導体は、バルク型高温酸化物超電導体よりも臨界電流密度が数十倍も大きく、コンパクト化には有利であるが、シース材として使用している銀あるいはその合金等の熱伝導率が大きいので、高温酸化物超電導体の低熱伝導率とい

う特徴を生かすことができない。したがって、低温側リード12の導体としてはバルク型高温酸化物超電導体が用いられるのが一般的である。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上記のように構成した電流リードでは、低温側リードでのジュール発熱が皆無となり、かつ熱伝導率が極めて小さく伝導による侵入熱も微小となるので、電流リードによる液体ヘリウムの蒸発を微量に抑制でき、超電導装置を極めて効率的なものとすることができる。

【0006】しかしながら、このように構成された電流リードにおいても、接続した超電導コイルに通電しているとき、何らかの原因によって低温側リードの高温酸化物超電導体が超電導状態から常電導状態へ転移すると、常電導状態での電気抵抗は金属の100倍以上と高いので、多大なジュール発熱を生じて導体の温度が上昇し、通電電流を瞬時に減衰させないと焼損してしまう危険性がある。

【0007】一方、一般的な超電導装置では、図15に励磁回路の基本構成図を示したように、超電導コイル21を一对の電流リード22および22Aを介して電源23に接続し励磁する回路において、超電導コイル21に並列に保護抵抗24が組み込まれている。超電導コイル21が何らかの原因によって超電導状態から常電導状態への転移を生じた場合、スイッチ25を遮断して超電導コイル21と保護抵抗24からなる閉回路を形成させ、励磁された超電導コイル21に蓄積された多大な磁気エネルギーを真空断熱容器26の外部の室温部分に配置した保護抵抗24に取り出すことにより、超電導コイル21および真空断熱容器26の損傷を防止している。

【0008】したがって、上記のように電流リードの低温側リードの高温酸化物超電導体が超電導状態から常電導状態へ転移したとき、これを検知してスイッチ25を遮断しても、超電導コイル21を流れる電流すなわち電流リードを流れる電流は超電導コイル21のインダクタンスと保護抵抗24の抵抗値で定まる時定数で減衰することとなり、電流リードの保護を念頭にした瞬時の減衰を行うことはできない。このため高温酸化物超電導体の温度が急激に上昇し、焼損する可能性が高くなる。電流リードが焼損すると、図15に示した超電導コイル21と保護抵抗24からなる閉回路が、電流リード22または22Aにおいて開放された状態となるので、超電導コイル21に蓄積されたエネルギーを保護抵抗24に取り出すことが不可能となり、絶縁破壊等の超電導コイル21の損傷や、電源23や真空断熱容器26に損傷を生じる危険性が高くなる。

【0009】この発明は、上記の問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、良導電性金属を導体とする高温側リードと、高温酸化物超電導体を導体とする低温側リードの直列接続体で構成された超電導装置用電流リ

ードにおいて、通電時に高温酸化物超電導体が何らかの原因により常電導状態へ転移することがあっても、異常温度上昇による焼損が防止され、超電導コイル、電源、あるいは断熱真空容器に損傷を生ずることなく、安全に使用できる超電導装置用電流リードを提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、この発明においては、

(1) 真空断熱容器の液体ヘリウム容器内に液体ヘリウムに浸漬した状態で収納された超電導コイルに外部電源より電流を流通する超電導装置用電流リードで、良導電性金属を導体とする高温側リードと、高温酸化物超電導体を導体とする低温側リードの直列接続体で構成され、ヘリウムガスを流通して高温酸化物超電導体を超電導状態として用いるものにおいて、低温側リードに並列に電気接続された保護導体を配設することとする。

【0011】(2) さらに、上記の保護導体を筒状に形成し、その内部に低温側リードを配置することとする。

(3) さらに、上記の保護導体の電気接続部分の表面に、良導電性金属、例えば金または金の合金、銀または銀の合金、あるいは銅または銅の合金等からなる金属膜を形成することとする。

【0012】(4) さらに、上記の保護導体を、例えばステンレス鋼やチタンのような低熱伝導性金属と、その両端に接合された例えば銅あるいは銅合金のような良導電性金属との直列接続体として形成することとする。

(5) さらに、これらの保護導体を、可撓性を有する形状に形成することとする。

【0013】(6) また、(1) の保護導体を、低温側リードの内部に埋設することとする。

(7) あるいは、(1) の保護導体と低温側リードを、同一の中空管の内部に配することとし、さらに、保護導体と低温側リードが中空管の内部に占める断面積の割合が50%以上85%以下となるように選定することとする。

(8) また、(1) の保護導体を、例えばブロンズ、ベリリウム銅合金、またはニッケル銅合金等からなる複数の導電性金属導体の線束から形成し、低温リードを冷却するヘリウムガスの流通路に稠密に配することとし、低温側リードを筒状に形成し、その内面に接する空間に保護導体を稠密に配するか、あるいは、低温側リードを柱状に形成し、その外側に配置される外力バーと低温側リードと空間に保護導体を稠密に配するか、あるいは、低温側リードを多重円筒状に形成し、その空隙に保護導体を稠密に配することとする。

【0014】(9) さらに、上記の線束を形成する導電性金属導体の、少なくとも一部の、内部に金属系超電導体、または化合物系超電導体を埋め込むこととする。

(10) また、上記の超電導装置用電流リードに、前記超電導コイルに流通する電流容量をもち良導電性金属を導体

とする補助電流リードを付設し、かつこれらの電流リードの低温端子を超電導コイルに連結した低温側接続導体に電気接続することとする。

【0015】(11) さらに、上記のごとく超電導装置用電流リードに付設した補助電流リードを、室温部での操作により低温端子部で着脱可能に構成することとする。

【0016】

【作用】超電導装置用電流リードを上記(1)のように、保護導体を低温側リードに並列に電気接続して配設させるものとすれば、低温側リードの高温酸化物超電導導体が常電導転移を生じても、高温酸化物超電導導体を流れていた電流は並列接続された保護導体にバイパスされるので、超電導コイルに蓄積されていた磁気エネルギーは外部に設置された保護抵抗で確実に消費されることとなる。したがって、本構成とすれば、超電導コイルや真空断熱容器等の損傷を生じることなく安全に使用できる超電導装置用電流リードとすることができる。

【0017】さらに、上記(2)のように、保護導体を筒状に形成し、その内部に低温側リードを配置することとすれば、低温端子の通流孔を通して低温のヘリウムを保護導体の内部に導くことにより、保護導体は、低温側リードを電気的に保護するのみならず、同時に低温側リードを冷却する低温のヘリウムガスのガイド管の機能をはたし、さらには保護導体自身も筒内壁より確実に冷却される。したがって、低温側リードの高温酸化物超電導導体の常電導転移が抑えられ、かつ仮に常電導転移が生じても、電流は確実に保護導体にバイパスされ、低温側リードは保護されることとなる。

【0018】さらに、上記(3)のように、保護導体の電気接続部分の表面に、良導電性金属、例えば金または金の合金、あるいは銀または銀の合金、あるいは銅または銅の合金等からなる金属膜を形成することとすれば、保護導体が良導電性の金属で形成されている場合は勿論のこと、ステンレス鋼のように導電性の劣る金属で形成されている場合においても、保護導体をハンダ接続により容易に電気接続することができ、接続抵抗を極めて低く抑えることができる。したがって、低温側リードに並列接続される保護導体の回路の抵抗を低い値に抑えることが可能となるので、低温側リードの高温酸化物超電導導体が常電導転移を生じた際に、保護導体へ大電流がバイパスされることとなる。

【0019】また、上記(4)のように、保護導体を、例えばステンレス鋼、チタンのような低熱伝導性金属とその両端に接合された例えば銅のような良導電性金属との直列接続体として形成することとすれば、良導電性金属をハンダ接続することにより接続抵抗の極めて低い電気接続が可能となり、かつ低熱伝導性金属を介在させたことにより極低温部への伝導熱量の少ない保護導体が得られるので、定常運転時には熱侵入量が少なく、高温酸化物超電導導体が常電導転移を生じた際には効果的に電流

をバイパスすることとなる。

【0020】さらに、上記(5)のように、保護導体を可撓性を有する形状に形成することとすれば、低温側リードの高温酸化物超電導導体とこれに並列接続した保護導体との熱膨張係数の差により熱収縮量に差が生じて、加わる熱応力が緩和されることとなるので、相対的に強度の劣る高温酸化物超電導導体の破損が防止されることとなる。

【0021】また、上記(6)のように、保護導体を低温側リードの内部に埋設することとすれば、保護導体は上端部、下端部のみならず長手方向の全体に渡って低温側リードと接し、電気的に連結されるので、並列接続体として極めて効果的である。さらに、保護導体と低温側リードとが一体に形成されているので、保護導体として、例えばステンレス鋼を用いれば、低温側リードの強度補強部材としての役割も同時に果たすこととなる。

【0022】また、上記(7)のように、保護導体と低温側リードを、同一の中空管の内部に配することとすれば、この中空管の内部へ低温のヘリウムガスを導入することにより保護導体と低温側リードが同時に冷却されることとなる。特に、複数の保護導体と複数の高温酸化物超電導導体からなる低温側リードを中空管の内部に組み込み、中空管の内部に占める断面積の割合を略50%以上となるように選定すれば、保護導体と低温側リードが中空管の内部にほぼ均一に分散して配置されるので、中空管の内部へ導かれたヘリウムガスは保護導体と低温側リードとの空隙を偏ることなく流れることとなり、また上記の断面積の割合を略85%以下となるように選定すれば、中空管の内部に適度の流路の空隙が残存するので、過大な圧力損失を生じることなくヘリウムガスを流通することができる。したがって、低温側リードと保護導体が少量のヘリウムガスで効率的に冷却されるので定常運転時の熱侵入量が少量に抑えられ、また、高温酸化物超電導導体が常電導転移を生じた際には効果的に電流をバイパスさせることができる。

【0023】また、上記(8)のように、保護導体を、例えばブロンズ、ベリリウム銅合金、またはニッケル銅合金等からなる複数の導電性金属導体の線束から形成し、低温リードを冷却するヘリウムガスの流通路に稠密に配することとし、例えば、低温側リードを筒状に形成しその内面に接する空間に保護導体を稠密に配するか、あるいは、低温側リードを柱状に形成しその外側の空間に保護導体を稠密に配するか、あるいは、低温側リードを多重円筒状に形成しその空隙に保護導体を稠密に配することとすれば、多数の線束から形成されることによって、保護導体の断面積当たりの表面積が大きくなり、ヘリウムガスの流通路に稠密に配置されることによって均一、かつ効率的に冷却されることとなる。したがって、定常運転時の熱侵入量が少量に抑えられ、また、高温酸化物超電導導体が常電導転移を生じた際には効果的に電流を

バイパスさせることができることとなる。

【0024】さらに、上記(9)のように、保護導体の線束を形成する導電性金属導体の、少なくとも一部の導体の内部に金属系超電導体、または化合物系超電導体を埋め込むこととすれば、埋め込まれた超電導体の臨界温度以下の部分では保護導体も超電導状態となる。したがって、長時間の使用に伴い、例えば熱サイクルによるクラックの発生等により、低温側リードを構成する高温酸化物超電導導体が破損して通電が不能となる事態が生じて、低温側リードの補修を行わずとも保護導体を介して定常運転を持続させることができ、かつ侵入熱の増大を抑制することができることとなる。

【0025】また、上記(10)のように、これらの電流リードに、良導電性金属を導体とする補助電流リードを付設し、それぞれの低温端子を超電導コイルに連結された低温側接続導体に電気接続することとすれば、高温酸化物超電導導体が焼損し使用不能となったとき、電源と連結する常温側の接続導体を、破損した電流リードの常温端子から補助電流リードの常温端子につなぎかえることにより、容易に超電導コイルの再励磁を可能とすることができる。

【0026】さらに、上記(11)のように、付設した補助電流リードを低温端子部で着脱可能な電流リードとすれば、保護導体を配設した低温側リードを用いての通常の通電操作のときには、付設した補助電流リードを取り外して使用できるので、補助電流リードでの熱伝導による侵入熱量を皆無とすることができる。また、高温酸化物超電導導体が焼損し使用不能となったときには、補助電流リードを装着し、常温側の接続導体をつなぎかえることにより、超電導コイルの再励磁を可能とすることができる。

【0027】

【実施例】以下、この発明の実施例を図面にもとづいて説明する。図1は、この発明の第1の実施例による超電導装置用電流リードを組み込んだ超電導装置の模式的な縦断面図である。すでに説明した従来例と同一機能を有する構成部品については同一符号を付して、重複した説明は省略する。

【0028】この図において、ステンレス鋼材等の金属材料で形成された保護導体15は、低温側リード12に並列に電気接続されて配設されている。低温側リード12を構成する高温酸化物超電導導体は、正常運転の超電導状態では電気抵抗がゼロであるので、電流リード11Aを流れる電流は高温酸化物超電導導体を流れ、保護導体15には流れないが、高温酸化物超電導導体が常電導状態に転移すると、高温酸化物超電導導体はセラミックスであり絶縁体に近い極めて高い電気抵抗率を呈するので、電流リード11Aを流れる電流は保護導体15にバイパスすることとなる。したがって、高温酸化物超電導導体の常電導状態への転移とともに、すでに図15に示



したように、スイッチ25を遮断することにより超電導コイル21を電源23から切り離し、超電導コイル21に貯えられた磁気エネルギーを保護抵抗24に取り出すこととすれば、この間低温側リード12を流れる電流はほぼゼロであるので、過大な温度上昇を生ずることなく安全に装置を停止することができる。なお、仮に低温側リード12が破損したとしても、磁気エネルギーは保護導体を介して保護抵抗に取り出されるので、超電導コイル、電源、あるいは真空断熱容器を損傷することなく、装置を安全に停止することができる。

【0029】保護導体15は、上記のごとく、超電導装置を構成する超電導コイル21の保護方式に係わるものであり、その材料、寸法等は、超電導コイル21の最大蓄積エネルギーや保護抵抗24の抵抗値、低温側リード12の正常時の許容侵入熱量、あるいは保護導体15の許容最高温度等により決められるものである。例えば、銅あるいはその合金、アルミニウムあるいはその合金等は電気抵抗率が小さく通電電流密度が高くとれるので、保護導体15としての寸法は小さくて済むが、これらは熱伝導率が高いので、正常時の侵入熱量が過大となるおそれがある。その点でステンレス鋼材を用いれば侵入熱量を抑制する点で有効であるが、通電時の温度上昇が過大とならないように配慮する必要がある。

【0030】なお、保護導体15を筒状に形成し、低温端子32に設けられた図示しない通流溝を通じて保護導体15の内部へ低温のヘリウムガスを導き、中間接続部14に設けられた図示しない通流溝を通じて高温側リード13へと流すこととすれば、低温側リード12を構成する高温酸化物超電導導体、さらには保護導体15が効果的に冷却され、定常運転時の侵入熱量が効果的に低減される。

【0031】図2は、この発明の第2の実施例による超電導装置用電流リードの低温側部分を拡大して示す模式的な縦断面図である。本実施例の第1の実施例との相違点は、ステンレス鋼材で形成された保護導体15が電気接続部に良導電性金属からなる金属膜17Aおよび17Bを備えている点にあり、金属膜17Aを良導電性金属からなる中間接続体14に、また金属膜17Bを良導電性金属からなる低温端子32にハンダ接続することにより、高温酸化物超電導導体からなる低温側リード12と並列接続となるよう電気接続されている。ステンレス鋼材で形成された保護導体15を中間接続体14および低温端子32へ直接電気接続するには、ハンダ接続は極めて困難であるので、溶接接続を行うことが必要となる。しかしながら、溶接接続を行うと周囲温度が高温となるので、低温側リード12を構成する高温酸化物超電導導体が組成変化を起こして超電導特性が大幅に低下してしまう可能性が極めて高い。これに対して、本実施例のように、電気接続部に良導電性金属からなる金属膜17Aおよび17Bを予め備えた保護導体15を用いてハンダ

接続することとすれば、高温酸化物超電導導体の特性を損なうことなく接続抵抗を微小に抑えて接続することができる。なお、ステンレス鋼材等の金属材料からなる保護導体15の電気接続部へ良導電性金属からなる金属膜17Aおよび17Bを形成する方法としては、めっき処理法、蒸着法、スパッタリング法あるいは溶射法等が用いられる。

【0032】図3は、この発明の第3の実施例による超電導装置用電流リードの低温側部分を拡大して示す模式的な縦断面図である。本実施例の特徴は、保護導体15Aが、電気接続部となる両端部に銅あるいは銅合金等からなる良導電性金属18Aおよび18Bを配し、中央部にステンレス鋼材等からなる低熱伝導性金属19を配して接合した直列接続体からなることにある。この構成では、電気接続部に良導電性金属18Aおよび18Bが用いられているので、第2の実施例と同様に、中間接続体14および低温端子32とハンダ接続により容易に電気接続することができ、かつ中央部に低熱伝導性金属19を配しているため、保護導体15Aを介して低温部へ侵入する熱量を効果的に抑制することができる。なお、良導電性金属18Aおよび18Bと低熱伝導性金属19との異種金属間の接合は、摩擦圧接法や電気圧着法により比較的容易に行うことができる。

【0033】図4は、この発明の第4の実施例による超電導装置用電流リードの低温側部分を拡大して示す模式的な縦断面図である。本実施例の特徴は、保護導体15Bが、ベローズ状に形成された可撓性を保持したステンレス鋼材よりなることである。電流リードを超電導装置に組み込んで使用する際には、電流リードの各部は低温のヘリウムガスにより冷却されるので、構成材料の熱膨張係数ならびに冷却される温度に対応して熱収縮する。低温側リード12と保護導体15Bの間においても、構成材料の差によって熱収縮量の差が生じて互いに熱応力を及ぼすこととなり、熱応力が過大になると強度の劣る高温酸化物超電導導体からなる低温側リード12が破損する恐れがある。本実施例の構成においては、保護導体15Bが可撓性を保持するように構成されているので、熱収縮量に差が生じて熱応力が緩和され、上記のごとき低温側リード12の破損は回避することができる。また、保護導体15Bをベローズ状に形成したことにより、保護導体15Bを介しての熱伝導による熱侵入量がより低減するという効果も得られる。なお、本構成ではステンレス鋼材よりなる保護導体15Bが可撓性を保持したものを例示したが、保護導体15Bが良導電性金属からなるもの、あるいは第3の実施例に示したごとく良導電性金属と低熱伝導性金属を接合した直列接続体からなるものであっても、可撓性を保持した構成とすれば同様な効果が得られることは例示するまでもない。

【0034】図5は、この発明の第5の実施例による超電導装置用電流リードの低温側部分を拡大して示す模式

的な横断面図で、(a)は全体断面図、(b)は(a)に用いられる低温側リードの断面図、(c)は(a)に用いられる他の低温側リードの断面図である。本実施例においては、(b)に示したようにステンレス鋼製の丸棒状の保護導体15C、あるいは(c)に示したようにステンレス鋼製の円筒状の保護導体15Dを埋設した、複数の高温酸化物超電導導体からなる低温側リード12Aが、中空管20の内部に配設され、導入されるヘリウムガスにより冷却されて超電導状態に保持される。本構成においては、保護導体15Cあるいは15Dと低温側リード12Aが上端部、下端部のみならず長手方向の全長にわたって電氣的に連結されるので、並列接続体として効果的であり、さらに一体に形成されているので、本質的に脆い高温酸化物超電導導体の機械的強度がステンレス鋼製の保護導体15Cあるいは15Dによって補強され、低温側リード12Aの機械的損傷が防止される。また、(c)に示した円筒状の保護導体15Dを埋設した低温側リード12Aは、外周を流れるヘリウムガスと保護導体15Dの内部を流れるヘリウムガスとにより効果的に冷却されることとなる。

【0035】図6は、この発明の第6の実施例による超電導装置用電流リードの低温側部分を拡大して示す模式的な横断面図である。本実施例においては、複数の丸棒状のバルク型の高温酸化物超電導導体からなる低温側リード12Bと、複数のステンレス鋼製の丸棒状の保護導体15Eが、中空管20Aの内部に稠密に配設され、長手方向の両端部で電氣的、機械的に接続されており、中空管20Aの内部の空隙を流れるヘリウムガスにより冷却して超電導状態に保持して使用される。

【0036】図7は、この発明の第7の実施例による超電導装置用電流リードの低温側部分を拡大して示す模式的な横断面図である。本実施例の第6の実施例との差は、複数の丸棒状のバルク型の高温酸化物超電導導体からなる低温側リード12Bに代わって、複数の丸棒状のシース型の高温酸化物超電導導体からなる低温側リード12Cが使用されている点にあり、その他は同一である。

【0037】上記の第6の実施例および第7の実施例による超電導装置用電流リードにおいては、中空管20Aの内部に占める低温側リード12B(あるいは12C)と保護導体15Eの全断面積の割合が50%以上に選定されており、導入されるヘリウムガスは均一に分散配置された低温側リード12B(あるいは12C)と保護導体15Eの空隙にほぼ均一に分布して流れることとなる。したがってヘリウムガスの流量が少量でも流速が高まり、熱伝達率が向上して、効果的に冷却されることとなる。

【0038】図8は、この発明の第8の実施例による超電導装置用電流リードの低温側部分の基本構成を拡大して示す模式断面図で、(a)は縦断面図、(b)は要部

の横断面図である。本構成においては、(a)に見られるように、円筒状に形成された低温側リード12Dは高温側を中間接続部14Aに、また低温側を低温端子32Bに嵌合され半田付け接続されている。低温側リード12Dの内部の中心部には気密な部材で形成された封止部材43が配され、封止部材43と低温側リード12Dの内面との間の空間に多数本のニッケル銅合金からなる保護導体15Fが組み込まれている。保護導体15Fの一端は、高温側接続体41を介して中間接続部14Aに、また他端は、低温側接続体42を介して低温端子32Bに導電接続されており、保護導体15Fと低温側リード12Dは電氣的に並列接続体を構成している。また(b)に見られるように、多数本のニッケル銅合金からなる保護導体15Fは、封止部材43と低温側リード12Dの内面との間の空間に稠密に挿入、配置されており、(a)に図示したごとく低温端子32Bに設けられた通流孔を通して導入され、中間接続部14Aに設けられた通流孔を通して高温側リードへと送られるヘリウムガス3Gにより冷却され、侵入熱が除去される。本構成では、封止部材43と低温側リード12Dの内面との間の空間の横断面に占める保護導体15Fの断面積の割合が70%以上に達しており、ヘリウムガス3Gが各部で均一に流れるので、保護導体15Fおよび低温側リード12Dが均一に冷却され、これらを介して低温端子32Bに侵入する伝導熱が低減されることとなる。

【0039】図9は、この発明の第9の実施例による超電導装置用電流リードの低温側部分を拡大して示す模式的な横断面図である。本実施例においては、多数本のニッケル銅合金からなる保護導体15Fが、円柱状に形成された低温側リード12Eと外周部のカバー44との間の空間に稠密に挿入、配置されている。本構成においても、第8の実施例と同様に、低温側リード12Eに並列接続された保護導体15Fがヘリウムガスにより効果的に冷却され、侵入熱が低減されることとなる。また本構成では、低温側リード12Eの外周部に保護導体15Fを配置したのちカバー44を任意に形成することができるので、保護導体15Fを稠密に挿入、配置するのが容易となる利点がある。

【0040】図10は、この発明の第10の実施例による超電導装置用電流リードの低温側部分を拡大して示す模式的な横断面図である。本実施例では、前述の第8の実施例と同様に、円筒状の低温側リード12Dの内部の封止部材43との間隙に保護導体15Gを配して構成されている。本実施例の第8の実施例との差異は、保護導体15Gの構成にあり、第8の実施例においては多数本のニッケル銅合金が用いられているのに対して、本実施例では、金属系超電導体のNb-Ti合金の細線が埋め込まれた多数本のニッケル銅合金が用いられている点にある。本構成では、低温状態においてNb-Ti合金が超電導状態となるので、仮に低温側リード12Dを構成する高

温酸化物超電導体が劣化して通電不能となる事態となっても、低温側リード12Dを補修することなく、本保護導体15Gを介して定期的な通電を継続できるという利点がある。

【0041】なお、本実施例において、多数本のニッケル銅合金に金属系超電導体のNb-Ti合金が埋め込まれたものを例示したが、Nb-Ti合金は多数本のニッケル銅合金のすべてに埋め込まれている必要はなく、通電電流容量に見合って一部のニッケル銅合金にのみ埋め込まれていても同等の効果が得られる。また埋め込まれる超電導体はNb-Ti合金に限るものではなく、Nb-Ti-Ta合金等の金属系超電導体や、Nb<sub>3</sub>Sn、Nb<sub>3</sub>Al等の化合物系超電導体を用いることとしても、その超電導体の臨界温度、通電容量に対応して、同様の効果が得られることとなる。

【0042】図11は、この発明の第11の実施例による超電導装置用電流リードの低温側部分を拡大して示す模式的な横断面図である。本実施例では、二重円筒状に形成された低温側リード12Fの間隙および最内部に、多数本のニッケル銅合金からなる保護導体15Fを稠密に配して構成されている。本構成では、低温側リード12Fおよび保護導体15Fの断面積を相対的に大きく採ることができるので、通電電流容量の大きな超電導装置用電流リード用として効果的である。

【0043】なお、上述の図8～図11に示した第8～第11の実施例においては、保護導体として多数本のニッケル銅合金を用いることとしているが、ニッケル銅合金に限るものではなく、例えばブロンズ、ベリリウム銅合金等の導電性金属導体であれば、同等の効果が得られることは例示するまでもない。図12は、この発明の第12の実施例による超電導装置用電流リードを組み込んだ超電導装置の模式的な縦断面図である。高温側リード13と低温側リード12からなり、保護導体15を低温側リード12と電氣的に並列に接続した電流リード11Aに、良導電性金属を導体とする補助電流リード16が付設されており、それぞれの低温端子が超電導コイル1に連結された低温側接続導体5Aに電気接続されている。この構成においては、低温側リード12を構成する高温酸化物超電導導体が焼損し使用不能となったとき、電源と連結する常温側の接続導体を、破損した電流リード11Aの常温端子33から補助電流リード16の常温端子33Aにつなぎかえることにより、超電導コイルの再励磁が可能となる。低温側リード12を構成する高温酸化物超電導導体が焼損し使用不能となり、これを交換するには、極低温の雰囲気下にある低温端子32での分離、つなぎ換えが必要となり、そのためには、装置の冷却を停止し、温度を上げて低温端子32を室温とする必要があり、極めて不経済であるが、補助電流リード16を付設しておけば、常温側の接続導体を付け替えるだけで容易に再励磁することができる。

【0044】なお、補助電流リード16を付設したことにより、電流リード11Aが正常に運転されている際にも、補助電流リード16を介して熱伝導により極低温部に熱が侵入するが、この際には電流は流れていないので、ジュール発熱はなく、熱伝導による微小分を除去するように、少量の低温ヘリウムガスを流して冷却すればよい。

【0045】図13は、この発明の第13の実施例による超電導装置用電流リードを組み込んだ超電導装置の模式的な縦断面図である。この実施例では、電流リード11Aに付設された補助電流リード16が、着脱可能低温端子31を用いて室温部での操作により着脱可能として組み込まれている。超電導コイル1が大規模なものである場合、超電導コイル1が交流損失を伴う場合、あるいは真空断熱容器4の熱侵入量が多い場合など、液体ヘリウムの蒸発量が多くヘリウムガス量が十分多い場合には、前述の第12の実施例による補助電流リード16に冷却用ヘリウムガスを流すことができるが、全体的に超電導装置の熱侵入量が少ない場合には、冷却用ヘリウムガスの流量を確保することが困難となる。図13に示した第13の実施例による超電導装置用電流リードは、このように超電導装置の熱侵入量が少なく、流量の確保が困難な場合に適するものである。

【0046】すなわち、この実施例では、補助電流リード16が、低温部の着脱可能低温端子31の部分に於いて着脱可能で、図の上部に対応する室温部分から下部へと挿入することによって超電導コイルへの接続導体に接続でき、上部の室温部分へと引き上げるることによって、取り外しが可能な構成となっている。正規の運転条件においては、補助電流リード16は外部へと取り外した状態とする。この状態では補助電流リード16による極低温部への熱侵入はないので、とくに冷却用のヘリウムガスを流す必要はない。万が一低温側リード12が損傷した場合、すでに述べた他の実施例と同様に、保護導体15を介して電流が流れ、超電導装置は安全に停止される。低温側リード12が使用不能の場合には、補助電流リード16を挿入して着脱可能低温端子31に装着し、常温側の接続導体を常温端子33Aにつなぎかえることにより、再び励磁することが可能となる。なお、図12および図13に示した実施例においては、電流リード11Aの低温側リード12に並列接続して組み込む保護導体として、図1の第1の実施例の保護導体15を例示しているが、図2～図11にそれぞれ示した第2～第11の実施例に示した保護導体を用いても、上記と同様の効果が得られることはあらためて説明するまでもなく明らかである。

【0047】

【発明の効果】この発明においては、上述のように、

(1) 真空断熱容器の液体ヘリウム容器内に液体ヘリウムに浸漬した状態で収納された超電導コイルに外部電源よ



り電流を通流する超電導装置用電流リードが、良導電性金属を導体とする高温側リードと、高温酸化物超電導体を導体とする低温側リードの直列接続体で構成され、ヘリウムガスを流通して前記高温酸化物超電導体を超電導状態にして用いるものにおいて、保護導体を低温側リードに並列に電気接続して配設させるものとしたので、低温側リードの高温酸化物超電導体が常電導転移を生じても、あるいは破損に至っても、高温酸化物超電導体を流れていた電流は並列接続された保護導体にバイパスして流れるので、超電導コイルに蓄積されていた磁気エネルギーは保護抵抗で確実に消費されることになり、超電導コイルや、電源、真空断熱容器等の損傷を生ずることなく、安全に使用できる超電導装置用電流リードが得られることとなった。

【0048】(2) さらに、保護導体を筒状に形成し、その内部に低温側リードを配置することとすれば、保護導体は、低温側リードを電氣的に保護するのみならず、同時に低温側リードを冷却する低温のヘリウムガスのガイド管の機能を果たす。したがって、低温側リードの高温酸化物超電導体の常電導転移が抑えられ、かつ仮に常電導転移が生じても、電流は確実に保護導体にバイパスされ、低温側リードは保護されることとなるので、超電導装置を損傷することなく安全に使用できる超電導装置用電流リードとして好適である。

【0049】(3) さらに、保護導体の電気接続部分の表面に、良導電性金属、例えば金または金の合金、あるいは銀または銀の合金、あるいは銅または銅の合金等からなる金属膜を形成することとすれば、保護導体をハンダ接続により容易に電気接続することができるので、低温側リードの高温酸化物超電導体の特性を損なうことなく、接続抵抗を極めて低く抑えることができる。したがって、低温側リードに並列接続される保護導体の回路の抵抗が確実に所定値に抑えられ、低温側リードの高温酸化物超電導体が常電導転移を生じても、保護導体へ大電流がバイパスされることとなるので、超電導装置を損傷することなく安全に使用できる超電導装置用電流リードとして好適である。

【0050】(4) また、保護導体を、例えばステンレス鋼のような低熱伝導性金属とその両端に接合された例えば銅のような良導電性金属との直列接続体として形成することとすれば、良導電性金属をハンダ接続することにより接続抵抗の極めて低い電気接続が可能となり、かつ低熱伝導性金属を介在させたことにより極低温部への伝導熱量の少ない保護導体を得られるので、定常運転時には熱侵入量が少なく、低温側リードの高温酸化物超電導体が常電導転移を生じた際には効果的に電流がバイパスされるので、超電導装置を損傷することなく安全に使用できる超電導装置用電流リードとしてさらに好適である。

【0051】(5) さらに、保護導体を可撓性を有する形

状に形成することとすれば、低温側リードの高温酸化物超電導体とこれに並列接続した保護導体との熱膨張係数の差により熱収縮量に差が生じても、加わる熱応力が緩和され、相対的に強度の劣る高温酸化物超電導体の破損が防止されるので、超電導装置を損傷することなく安全に使用できる超電導装置用電流リードとしてさらに好適である。

【0052】(6) また、保護導体を低温側リードの内部に埋設することとすれば、保護導体は長手方向の全体に渡って低温側リードと接して電氣的に連結されるので、並列接続体として極めて効果的であり、さらに保護導体と低温側リードが一体に形成されるので、保護導体が低温側リードの強度を補強し損傷を防止するので、超電導装置を損傷することなく安全に使用できる超電導装置用電流リードとして好適である。

【0053】(7) また、保護導体と低温側リードを、同一の中空管の内部に配することとすれば、この中空管の内部へ低温のヘリウムガスを導入することにより保護導体と低温側リードが同時に冷却されることとなり、特に、保護導体と低温側リードが中空管の内部に占める断面積の割合を50%以上85%以下となるように選定すれば、過大な圧力損失を生じることなく、低温側リードが効果的に冷却され、ヘリウムガスの流量が少量でも高温酸化物超電導体が超電導状態に保持され、かつ定常運転時の熱侵入量が微小に抑制されることとなる。したがって、超電導装置を損傷することなく安全に使用できる超電導装置用電流リードとして、より好適である。

【0054】(8) また、保護導体を、ニッケル銅合金等からなる複数の導電性金属導体の線束から形成し、低温側リードを冷却するヘリウムガスの流通路に稠密に配することとし、例えば、低温側リードを筒状に形成してその内面に接する空間に保護導体を稠密に配するか、あるいは、低温側リードを柱状に形成しその外側の空間に保護導体を稠密に配するか、あるいは、低温側リードを多重円筒状に形成しその空隙に保護導体を稠密に配することとすれば、保護導体は均一にかつ効率的に冷却されて、定常運転時の熱侵入量が少量に抑えられることとなる。したがって、超電導装置を損傷することなく安全に使用できる超電導装置用電流リードとして好適である。

【0055】(9) さらに、保護導体の線束を形成する導電性金属導体の、少なくとも一部の導体の内部に金属系超電導体、または化合物系超電導体を埋め込むこととすれば、長時間の使用に伴い、低温側リードを構成する高温酸化物超電導体が破損して通電が不能となる事態が生じても、保護導体を介して定常運転を持続させることができることとなるので、超電導装置を損傷することなく安全に使用できる超電導装置用電流リードとして、より好適である。

【0056】(10) また、上記のように低温側リードに保護導体を配設した電流リードに、良導電性金属を導体と

する補助電流リードを付設し、それぞれの低温端子を超電導コイルに連結した低温側接続導体に電気接続することとすれば、高温酸化超電導導体が焼損し、低温側リードが使用不能となった場合にあっては、電源と連結する常温側の接続導体を破損した電流リードの常温端子から補助電流リードの常温端子につなぎかえることにより、容易に超電導コイルの再励磁を行うことができるようになるので、超電導装置を損傷することなく安全に使用できる超電導装置用電流リードとしてさらに好適である。

【0057】(11)さらに、上記の付設する補助電流リードを、低温端子部で着脱可能な電流リードとすれば、保護導体を配設した低温側リードが正常に動作しているとき、付設した補助電流リードを取り外して使用できるので、補助電流リードでの熱伝導による侵入熱量を皆無として低熱侵入の電流リードの性能を確保し、かつ、高温酸化超電導導体が焼損し使用不能となった場合においても、補助電流リードを装着し、常温側の接続導体をつなぎかえることにより、容易に超電導コイルの再励磁を行うことができるようになるので、超電導装置を損傷することなく安全に使用できる超電導装置用電流リードとしてさらに好適である。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の第1の実施例による超電導装置用電流リードを組み込んだ超電導装置の模式的な縦断面図

【図2】この発明の第2の実施例による超電導装置用電流リードの低温側部分を拡大して示す模式的な縦断面図

【図3】この発明の第3の実施例による超電導装置用電流リードの低温側部分を拡大して示す模式的な縦断面図

【図4】この発明の第4の実施例による超電導装置用電流リードの低温側部分を拡大して示す模式的な縦断面図

【図5】この発明の第5の実施例による超電導装置用電流リードの低温側部分を拡大して示す模式的な横断面図で、(a)は全体断面図、(b)は(a)に用いる低温側リードの断面図、(c)は(a)に用いる他の低温側リードの断面図

【図6】この発明の第6の実施例による超電導装置用電流リードの低温側部分を拡大して示す模式的な横断面図

【図7】この発明の第7の実施例による超電導装置用電流リードの低温側部分を拡大して示す模式的な横断面図

【図8】この発明の第8の実施例による超電導装置用電流リードの低温側部分の基本構成を拡大して示す模式断面図で、(a)は縦断面図、(b)は要部の横断面図

【図9】この発明の第9の実施例による超電導装置用電流リードの低温側部分を拡大して示す模式的な横断面図

【図10】この発明の第10の実施例による超電導装置用電流リードの低温側部分を拡大して示す模式的な横断面図

【図11】この発明の第11の実施例による超電導装置用電流リードの低温側部分を拡大して示す模式的な横断面図

【図12】この発明の第12の実施例による超電導装置用電流リードを組み込んだ超電導装置の模式的な断面図

【図13】この発明の第13の実施例による超電導装置用電流リードを組み込んだ超電導装置の模式的な断面図

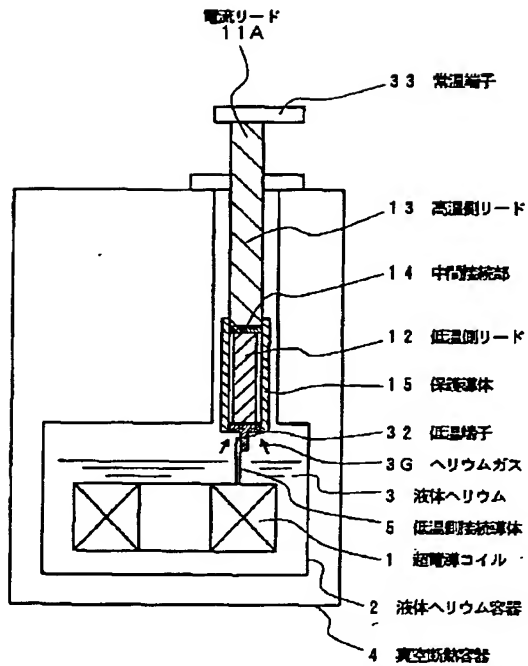
【図14】従来の超電導装置用電流リードを組み込んだ超電導装置の模式的な断面図

【図15】一般的な超電導装置の励磁回路の基本構成図

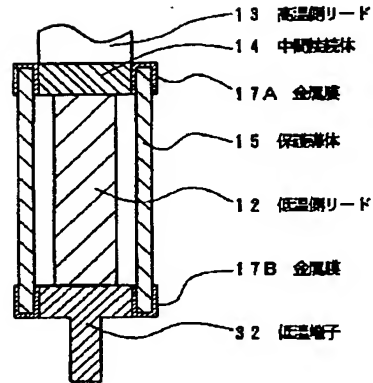
#### 【符号の説明】

- |             |          |
|-------------|----------|
| 1           | 超電導コイル   |
| 2           | 液体ヘリウム容器 |
| 3           | 液体ヘリウム   |
| 3 G         | ヘリウムガス   |
| 4           | 真空断熱容器   |
| 5, 5 A, 5 B | 低温側接続導体  |
| 11, 11 A    | 電流リード    |
| 12, 12 A    | 低温側リード   |
| 12 B, 12 C  | 低温側リード   |
| 12 D, 12 E  | 低温側リード   |
| 12 F        | 低温側リード   |
| 13          | 高温側リード   |
| 14, 14 A    | 中間接続部    |
| 15, 15 A    | 保護導体     |
| 15 B, 15 C  | 保護導体     |
| 15 D, 15 E  | 保護導体     |
| 15 F, 15 G  | 保護導体     |
| 16          | 補助電流リード  |
| 17 A, 17 B  | 金属膜      |
| 18 A, 18 B  | 良導電性金属   |
| 19          | 低熱伝導性金属  |
| 20, 20 A    | 中空管      |
| 31          | 着脱可能低温端子 |
| 32, 32 A    | 低温端子     |
| 32 B        | 低温端子     |
| 33, 33 A    | 常温端子     |
| 41          | 高温側接続体   |
| 42          | 低温側接続体   |
| 43          | 封止部材     |
| 44          | カバー      |

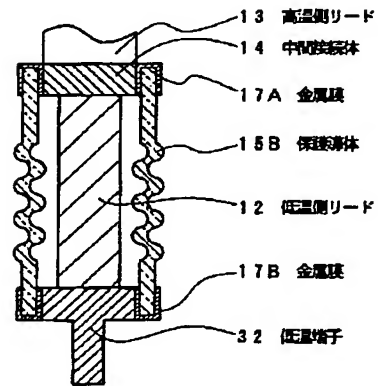
【図1】



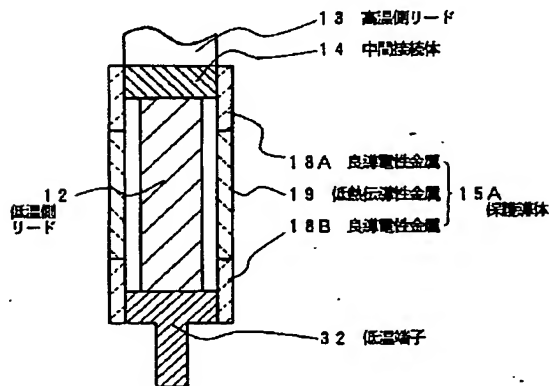
【図2】



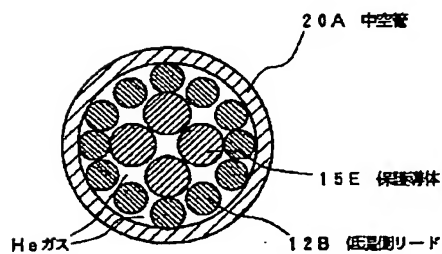
【図4】



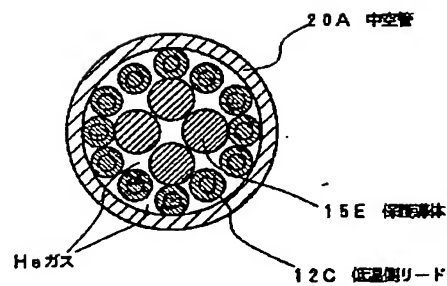
【図3】



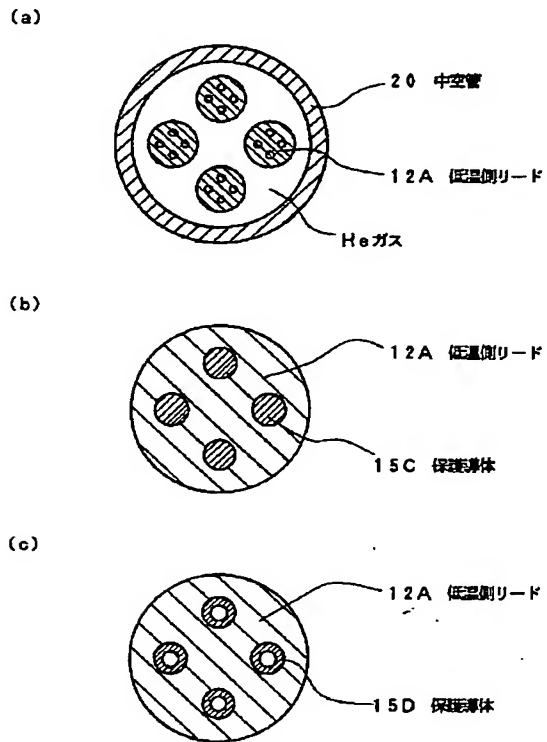
【図6】



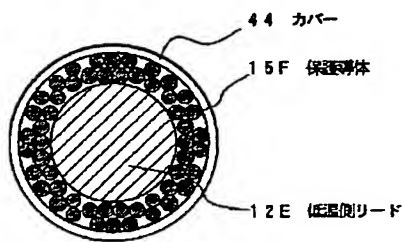
【図7】



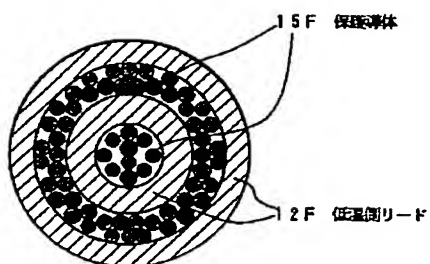
【図5】



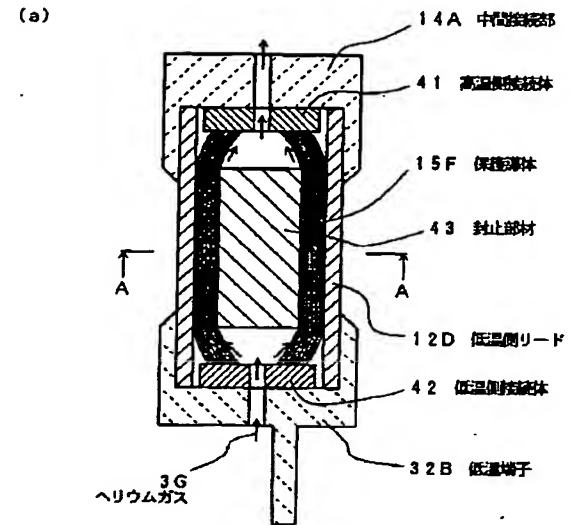
【図9】



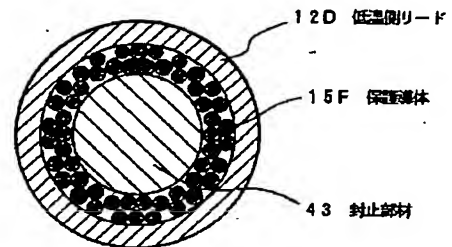
【図11】



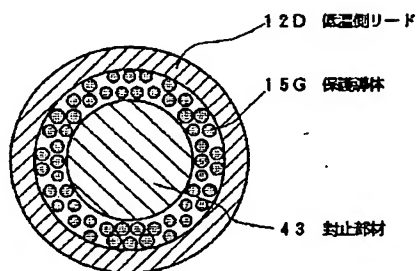
【図8】



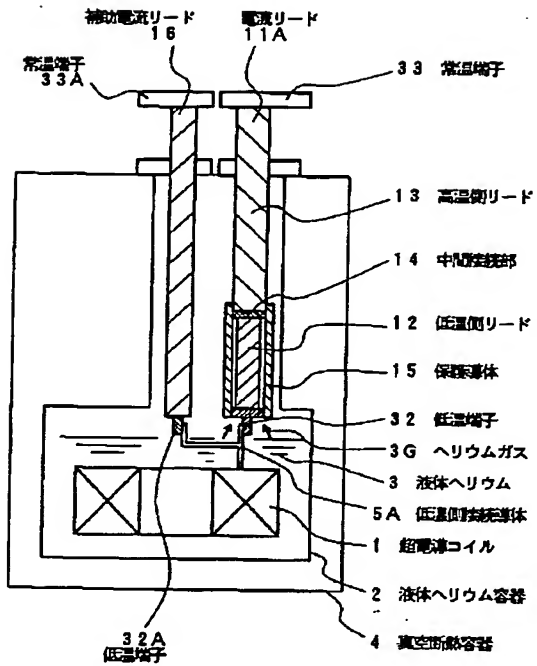
(b)



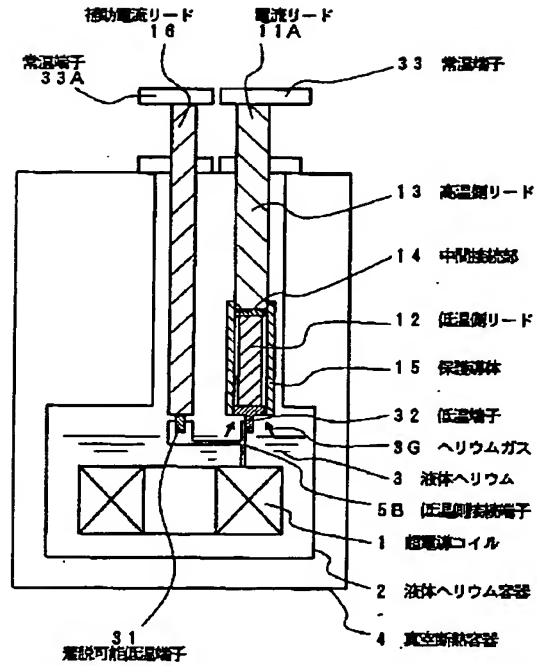
【図10】



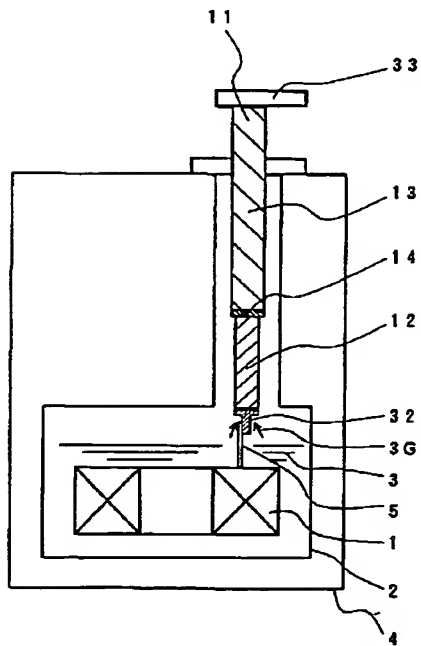
【図12】



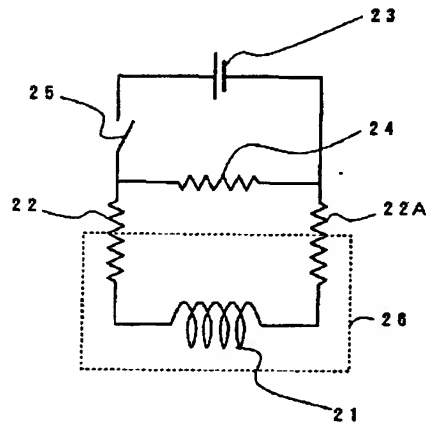
【図13】



【図14】



【図15】





フロントページの続き

(72)発明者 滝田 清  
神奈川県川崎市川崎区田辺新田 1 番 1 号  
富士電機株式会社内

(72)発明者 保川 幸雄  
神奈川県川崎市川崎区田辺新田 1 番 1 号  
富士電機株式会社内

(72)発明者 伊藤 郁夫  
神奈川県川崎市川崎区田辺新田 1 番 1 号  
富士電機株式会社内